宽带无线自组网技术在电视直播中的应用研究

陈 鹏 王浩存 董鹏程
（河北广播电视台，河北 石家庄 050031）

摘 要：【目的】在完全没有网络和供电的情况下通过宽带自组网技术完成电视直播工作。【方法】使用广播电视直播拍摄设备和宽带自组网设备联合进行测试。【结果】无论是在移动情况下，还是在远程环境中，宽带自组网都能够低延时、高带宽地高质量完成视频信号传输。【结论】使用宽带自组网技术可以满足广播电视在特殊环境下的直播工作，助力广播电视网络化、融合化节目生产。

关键词：宽带；无线；自组网；电视；直播 中图分类号：TN948.2 文献标识码：A
文章编号：1671-0134（2023）01-149-05 DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2023.01.030
本文著录格式：陈鹏，王浩存，董鹏程 . 宽带无线自组网技术在电视直播中的应用研究 [J]. 中国传媒科技，2023（01）：149-153.

习近平总书记在党的二十大报告中提出：“加强全媒体传播体系建设，塑造主流舆论新格局。健全网络综合治理体系，推动形成良好网络生态。”电视台作为主流媒体，严格遵循总书记要求，充分利用网络、微波、卫星等现代技术通信手段，完善、建设全媒体传播技术体系，构建牢固的主流媒体阵地。宽带无线自组网 Mesh 技术（以下称自组网）是近些年来非常主流的应急信息处置和传输手段，主要应用于地震、山火、水灾、战争等重大灾害后，在灾区完全断绝运营商网络和电力网络情况下，救灾队伍实现远程通信和多媒体信息双向互通的场景。本文要研究的是在本地无运营商网络和电力供给情况下，运用宽带无线自组网和远程运营商互联网对接，将视频信号远程传输到电视台进行电视和网络直播的情况。

1. 自组网技术系统概述

自组网系统是采用全新的“无线网格网络”理念设计的移动宽带多媒体通信系统。系统所有节点在非视距（NLOS）、快速移动条件下，利用无中心、无线、自组网的分布式网络构架，可实现多路语音、数据、图像等多媒体信息的实时双向通信。同时系统支持任意网络拓扑结构，每个节点设备可随机快速移动，整体系统部署便捷、使用灵活、操作简单、维护方便。自组网设备可配备 Wi-Fi、4G、5G、LTE 等协同通信模块，与国际互联网和私网进行通信，是一个动态的可以不断扩展的网络架构。

2. 宽带无线自组网 Mesh 设备的技术优势

2.1 快速部署、安装简便

适用于抢险和军事的宽带无线自组网 Mesh 节点设备，必须能够方便快捷地在灾区和战场部署，并省去繁琐的设备调试和组网调试过程，为快速实现信息传递抢出时间，为此所有的宽带无线自组网 Mesh 设备只需要安装天线和电源就可完成部署。宽带无线自组网智能化高，具备网络自我组织、自动中继、自动选择最佳通信链路的能力。宽带无线自组网系统去中心化，所有 Mesh 设备地位对等，单一频点支持双向通信，频率管理简单，频谱利用率高。任意 Mesh 设备均可作为末端节点、中继节点或指挥节点使用。宽带无线自组网系统目前同频组网可支持不少于 20 个节点，所有节点之间的信道质量、数据速率、误码率均实现动态计算、实时调整，随时调整路由和更新拓扑，保证最佳通信状态。友好的使用体验下，使用单位可以很容易增加新的宽带无线自组网设备来扩大无线网络的覆盖范围和网络容量。自组网 Mesh 设备无须有线电缆连接，这与有线 AP 不同，仅这一点带来的成本节省就是非常可观的。自组网网管配置和功能与传统的 WLAN 相同，使用单位非常容易配置。

自组网中的任意两个 Mesh 设备均可以保持无线互联。自组网中的 Mesh 设备凭借多跳互连和网状拓扑特性，特别适用于应急、救灾、军事网络等多种保密宽带无线接入网络的搭建，具有更高的可靠性、更

广的服务覆盖范围和更低的成本投入。

2.2 非直视距（NLOS）信息传输

宽带无线自组网利用 Mesh 技术可以很容易实现非视距（NLOS）数据信息传输，这一点非常适合野外和大型公共场地使用。自组网中与发射节点直视距的接收点先接收无线信号，然后再将接收到的信号转发给发射节点非直视距节点。按照这种方式，信号能够自动选择最佳路径不断从一个点位跳转到另一个点位，并最终到达所有目标节点。[1] 直视距节点设备为非直视距节点设备提供路由和宽带访问服务。自组网非视距传输特性扩展了无线宽带的应用领域和覆盖范围，这一点明显强于微波通信的直视距传输模式。

2.3 网络抗毁坏性强

多路由数据传输能实现网络结构的稳定。自组网使用 Mesh 多跳技术，它不依赖于单一节点的性能。自组网中的每个 Mesh 设备都有一条或几条传送数据的路径，如果最近的相邻设备出现故障或干扰，数据信息由其他 Mesh 设备路由进行传输，整个网络运行性能不受影响。自组网还提供更大的冗余机制和通信负载平衡功能，从而有效地避免了设备节点的通信拥塞，极大地提升了整个自组网系统的容灾可靠性。

2.4 传输带宽高

通信传输的距离越短就越容易获得高带宽，这一点是由无线通信的物理特性决定的。各种干扰和其他导致数据丢失的因素随无线传输距离的增加而增加。自组网技术的优势就在于使用多个短跳来传输数据，实现在相同的传输距离下能够传输更大的带宽和更多的信息，现在的宽带无线自组网最大传输速率已经可达每秒几十比特。高带宽的传输能力为语音、视频、图片、文字的多媒体传输提供了基础条件。

2.5 传输距离远、机动性好

宽带无线自组网设备体积小、重量轻，可快速部署于单兵、车辆、临时三脚架、树木和建筑物上。宽带无线自组网 Mesh 设备均采用全向天线，支持动中通，可在所有节点机动情况下保持网络通信，最大移动速度可达 350 公里 / 小时。以某公司公布设备为例，可以看出功率最小的单兵背负式设备的视距传输距离在 2-5 公里，完全可以满足电视直播使用。

表 1　宽带无线自组网 Mesh 设备功能对比表

序号	设备使用方式	功率	覆盖距离（视距）	工作频段	吞吐率
1	单兵背负	4 瓦	2-5 公里	1.4GHz	82Mbps
2	移动式	10 瓦	10-20 公里	1.4GHz	82Mbps
3	移动式	20 瓦	20-40 公里	1.4GHz	82Mbps
4	无人机载	4 瓦	40-50 公里	1.4GHz	82Mbps
5	车船载	10 瓦	10-20 公里	1.4GHz	82Mbps

2.6 良好的兼容性

宽带无线自组网 Mesh 设备提供标准的以太网接口，无须配置 IP 路由，可兼容所有 IP 化信息应用，能够与国内主流厂商的 BBU、SDH 和 PTN 设备终端无缝互联，即开即用。同时 Mesh 设备提供 Wi-Fi 等业务终端接口，方便智能手机、移动电脑、执法记录仪和 Wi-Fi 摄像头等接入。[2]

3. 宽带无线自组网 Mesh 技术在电视直播中的应用

要做好电视直播，必须适应全地形条件，有效地解决无电力、无网络，信号传输容易受到天气条件影响等问题。[3] 自组网 Mesh 技术加持下的高带宽、低延时、多网互通性强、双向媒体信息传输等能力，非常适合电视直播广泛使用。

3.1 高带宽、低延时的使用场景

经过对比实测，两个直线距离 500 米的 4G 基站在使用光纤链路时，通过 Speedtest 软件 ping 延时为 20 毫秒左右，下行速率为 95.4 兆，上行速率 13.8 兆；使用无线自组网 Mesh 设备提供传输时，ping 延时在 30 毫秒左右，下行速率可以达到 23.5 兆，上行速率 16.7 兆，该时延、速率可以满足大部分 4G 业务开通需求，也完全能够满足电视直播要求。传统电视台使用的全高清 4G 视频传输设备，一般使用 5 兆速率就可以满足电视播出信号要求，所以测试中的 16.7 兆速率已经大大超越直播带宽使用要求。一般的优质电信

服务带宽的传输延时都在 100 毫秒以内，宽带无线自组网 Mesh 技术在实测中的表现已经达到优秀水平，超过电视播出要求。[4]

3.2 多网互通性强，链路兼容各种使用场景

宽带无线自组网 Mesh 技术架构可与卫星网络、LTE 专网、4G 或 5G 公网、Wi-Fi、有线网络等多种通信方式融合为一体，互联互通，并带北斗和 GPS 定位，根据每种通信方式各自的功能及特点，接入不同业务终端，实现不同功能需求，可在不同地理环境、不同网络环境、不同需求环境下进行使用，解决直播现场通信问题，还可以作为卫星网络、4G 或 5G 公网基站的信号延伸，方便直播团队通过混合网络传输直播数据。

3.3 音视频双向数据传输使用场景

宽带无线自组网 Mesh 设备原本的设计是为了抢险、应急或军事行动使用，具备双向的视频和语音交流服务功能。这些功能，在电视直播时可以改造为导播和摄像，以及前方记者和后方主持人沟通的渠道。通过双向互通，既可以在电视端播出来自前方记者的视频和音频，同时导播还可以通过上行语音对摄像发布指令，指导画面拍摄。同时还可以通过回传到记者侧的 PGM 和互动内容画面，让现场记者知晓直播的进展以及各种互动信息，这种方式非常适合大型电视直播流程。

3.4 链路自动平衡负载使用场景

在多跳的 Mesh 自组网网络中，所有接入设备都可以自主寻找传输链路，自动配置传输的负载。无论是蛇形传输还是星形传输都能够实现设备的高效资源调配，同时为 Mesh 系留无人机中继设备的及时补位提供了条件。可以在传输薄弱点或者非视距条件下，加入宽带 Mesh 系留无人机中继设备，使整个传输链路更加坚强。在这样的组网条件下全媒体的直播设备可以广泛地在 Mesh 自组网网络中发挥作用，前方摄像和记者可以全身心用在景色的拍摄以及优质声画的采集中，拍摄当地的传输链路完全不依赖于运营商或者卫星提供商，全部由媒体团队控制，直播安全系数高。

3.5 超远距离传输和移动传输使用场景

架设在高山顶点的 20 瓦无线自组网 Mesh 发射机，与另外一部固定在车辆顶部的 20 瓦无线自组网 Mesh 接收机组网。通过 IxChariot 软件进行测试，在距离 20 公里的视距情况下，移动车辆中 ping 传输时延约 10 毫秒，上下行速率可达 9M 左右，可以满足电视直播的传输需求。[5]

4. 宽带无线自组网应用案例分析

案例一：环山越野跑

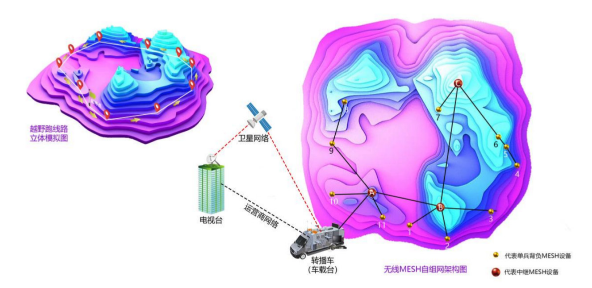


图 1 环山越野跑场景直播方案模拟图

模拟一个环山越野跑场景，比赛地区在直径 30 公里范围内。赛事共有 11 个拍摄节点，每个节点都在不同的高度空间之中。为了保障赛事直播，共配备 3 个 10 瓦宽带无线 Mesh 自组网中继设备，标号 A、B、C，配备 11 个 4 瓦自组网单兵背负 Mesh 自组网设备，配备 1 个车载接收终端，另外配备一台应急中继无人机。

越野跑流程：越野跑的起终点都设置在 1 号位置，选手由 1 号位置出发按照标号行进，要在高低差 100 米的梯度上进行竞速越野跑。

宽带无线自组网 Mesh 设备配置：标号 1–11 的单兵背负 Mesh 自组网设备分别部署在每一个拍摄点位，每个设备的可视传输距离在 3–5 公里。标号 C 的宽带无线 Mesh 自组网中继设置在海拔最高的主峰上，标号 B 的宽带无线 Mesh 自组网中继设置在距离转播车最近的次高峰上，标号 A 的宽带无线 Mesh 自组网中继设置在距离起始点较近的小高地上，具有 10 瓦功率的 A、B、C 设备可视传输距离在 10 公里 –20 公里。由 C、B、A 设备和车载接收终端组成骨干，由 B 和 1、2、3 设备组成星形网络，由 C 和 4、5、6、7 设备组成星形网络，由 B 和 8、9、10、11 组成星形网络。其中，4、5、6 和 C 设备为直线跳接，8，9 和 A 为直线跳接。

全媒体信号传输流程：越野跑各点位信号通过自组网设备传输到转播车，转播车导播对来在不同点位的视频信号进行切换，并通过上行通话系统与点位上主持人和摄像进行沟通。切换好的最终 PGM 信号通过运营商网络或卫星网络传回异地的电视台进行播出。所有的单兵设备和中继设备均采用自带电源供电的方式，不依靠任何外来资源进行组网。如果某个中继设备或单兵设备发生问题，首先可以采取链路重构，利

用现有设备群进行自愈式网络修复，也可派遣中继无人机进行补点操作，恢复区域网络。

案例二：高山滑雪赛

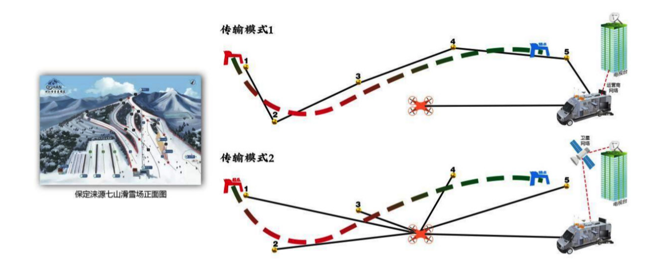


图 2　高山滑雪赛事直播方案模拟图

本案例是基于笔者率领技术团队参加河北省第三届冰雪运动会高山滑雪赛的流程设定。

赛事条件：此次高山滑雪赛在河北省保定市涞源县七山滑雪场第 5 赛道举行，赛道总长度 1100 米，落差在 100 米左右。运动员在坡顶出发点龙门处集合，比赛时沿赛道下行经过 1–5 拍摄点最终到达终点，所有拍摄点在山下均可视。

传统拍摄方案配置：向山顶 1 位置上拉了 1 条光纤，在 2、3 位置布置了两个无线视频图传设备，在 4、5 位置拉了 2 条 200 米综合视频电缆（含电源）。过程中光纤的布设极为困难，还容易发生危险。无线图传在低温环境下时常发生中断。综合视频电缆在埋入雪道后，无法随意移动位置，不能灵活调整机位。

新自组网配置：设备即开即用，还可以随时移动，施工难度降低。无须人工调整网络，无须布设光缆和综合视频电缆，所有拍摄点位可以灵活布置机位。所有设备均配备高容量电源，能够满足低温条件下的长时间工作使用。布设在 1–5 点位的单兵 4 瓦自组网单兵背负 Mesh 自组网设备每个仅重 1.2 公斤（含电池），可满足跳接信号传输，形成蛇形网络构架。也可以 5 个点位与中继系留无人机共同构成星形网络构架，可以根据网络负载情况进行自动调整。即便是有设备宕机，整个网络也可以自愈并重新调整负载，网络安全性强。

全媒体信号传输流程：高山滑雪赛各点位信号可通过自组网 1 模式或 2 模式传输到转播车，转播车导播对来在不同点位的视频信号进行切换，并通过上行通话系统与点位上和摄像进行沟通，并将山下的回放视频信号传输到山上供出发点裁判使用。无人机可在赛道上空系留，一方面拍摄高空画面，另一方面提供 Mesh 自组网中继服务。转播车切换好的最终比赛信号通过运营商网络或卫星网络传输回异地的电视台进行播出。

案例三：隧道火灾视频直播

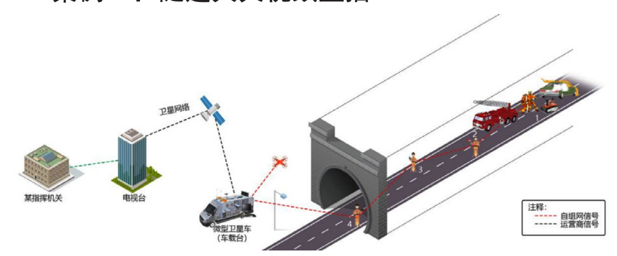


图 3　隧道火灾视频加密直播方案模拟图

突发事件直播是关注重点，隧道火灾是最考验传输设备性能和现场直播协调调度能力的一种直播形式。本案例是模拟“2017 年 5 月 23 日张石高速公路 302 公里加 400 米处浮图峪 5 号隧道发生的一起车辆燃爆事故”纸面推演的视频加密直播方案。

模拟的场景是：受上级机关派遣，电视台协同应急消防部门，将火灾现场视频直播画面加密传输到某指挥机关，供领导远程了解现场情况，展开人员、物资指挥调度。

现场条件分析：

由于火灾原因，隧道内已经完全没有电力和运营商网络。

隧道位于保定市涞源县境内，当地多山且植被覆盖较密，隧道外的运营商信号也非常差。

现场路况复杂，道路堵塞严重。

由于是危化车辆在隧道内爆炸，有毒烟气很多。

针对性方案设计重点：

协同应急消防部门联合行动，听从统一指挥调度。

携带便携式卫星设备（或小型越野卫星车）、宽带自组网设备（最好和应急消防部门同设备双频使用，提高设备利用率）和微型切换设备。

协调应急消防部门，让专业消防人员携带头盔拍摄附件和宽带自组网设备进入火灾现场，原则是不影响消防人员正常工作，轻量化、双频化。视频直播自组网频率和现场消防指挥频率严格分开。

自架设卫星设备和自组网接收设备均采用自供电方式，不给救援队伍添麻烦。

必要时起飞无人机进行信号补点和航拍直播拍摄，对事故现场全景进行展示。

自组网配置：到达现场前，预先根据已经进入隧道人员的描述，准备足够的宽带自组网单兵设备。隧

道宽10米、长度400米，使用4瓦单兵背负式Mesh自组网设备连接消防员头盔Wi-Fi摄像机信号传输发射方式较为合适。在隧道内折角处单独布置固定点位自组网设备，满足跳接信号。最前方点位可使用自组网单兵和消防机器人协同拍摄的方式进行信号采集，充分保障人员安全。如图所示：传输链路1-4点位基本按照蛇形方式布置，最终由卫星车上的自组网接收设备实现多路自组网信号接收，并将多路信号通过车载微型切换设备进行切换之后，由车载卫星上行设备通过地球同步卫星传输到电视台，电视台加密后将信号传送到后方某指挥机关。

组网注意事项：由于现场情况复杂，当地的公安、消防等单位可能采用多种大功率无线发射设备保障通信，直接会对自组网设备通信产生影响。同时在不了解现场情况的时候，不要贸然开机使用自组网设备，避免对现场其他无线通信设备造成干扰。要听从统一指挥，对现场的无线电频率、频点进行规划之后再使用设备。使用无人机拍摄和自组网补点时必须征得当地空军管制部门同意，避免无人机违规。隧道内温度很高，使用自组网设备要注意使用温度，尽量避免设备损坏。隧道内的烟尘和水汽有可能损坏自组网设备散热系统和造成自组网设备主板损坏,应提前对自组网设备进行包覆，隔离烟尘、水汽。特别要注意对自组网设备自供电锂电池的保护，防止出现因为电池使用不当，造成设备破坏和信号中断。自组网接收设备可采用双频接收设备，既可以随时调整接收频点，又可以与其他频率自组网设备无缝接入，扩展信号采集渠道。

以上3个案例，基本概括了笔者在长期电视直播实践中适合宽带无线自组网使用的场景，希望对大家有所帮助。

结语

全力构建全媒体传播格局,讲好新时代中国故事，持续增强主流媒体的传播力、引导力、影响力、公信力，是媒体人矢志不渝的工作方向。宽带无线自组网Mesh技术为电视直播和网络直播提供了新的拓展空间，完善了在无网络（网络条件差）、无电力条件下实现多点位直播的能力。自组网技术设备造价低、性能强、组网快，使用成本远低于卫星网络和运营商网络，是电视直播手段的有力补充。应对宽带无线Mesh自组网技术进行持续尝试，总结电视直播新经验，生产更多优质的电视作品，为宣传事业做出更大贡献！

参考文献

[1] 姜永锋．自组网六旋翼无人机在人防指挥通信中的应用[J]. 青海科技，2022（3）：92-98.

[2] 邹锦渝，旦增群培．无线自组网与无人机在公共安全领域的结合应用[C]//.2019年全国公共安全通信学术研讨会优秀论文集，2019:286-290.

[3] 何玉梅．网络数字化广播电视技术的使用[J]. 中国传媒科技，2022（10）：145-147.

[4] 陈融洁．关于无线自组网技术在通信基站应急抢修中的应用[J]. 数字通信世界，2017（7）：122-123.

[5] 曲金星，罗蒙蒙，张伟．风电场自组网无线通讯网络搭建研究与应用[J]. 工业控制计算机，2019（12）：124-128.

[6] 贺灿辉．风电场自组网无线通讯网络搭建研究与应用[J]. 消防界，2022（9）：56-58.

[7] 傅凌．公安现场应急通信系统的研究[C]//.2020中国信息通信大会论文集（CICC 2020），2020:435-438.

[8] 闫朝星，付林罡，郑雪峰，谌明．基于无人机自组网的空海一体化组网观测技术[J]. 海洋科学，2018（1）：21-27.

[9] 庞泽峰，刘增力．基于无线自组网的边境视频监控系统[J]. 计算机与数字工程，2018（5）：956-971.

[10] 邓创．基于无线自组网的电力应急现场指挥通信系统[J]. 北塔软件，2015（5）：67-72.

[11] 黄巍，陈俊良，李犹海．无人机自组网技术综述与发展展望[J]. 电讯技术，2022（1）：138-146.

[12] 郭星煌．不同应急作战场景下单兵移动视频传输方案的选择[J]. 武警学院学报，2018（2）：20-23.

作者简介：陈鹏（1977-），男，浙江丽水，河北广播电视台技术管理中心技术专家科科长，研究方向为广播电视新媒体端应用；王浩存（1997-），男，河北衡水，河北广播电视台新媒体中心产业开发组科员，研究方向为广播电视新媒体端应用；董鹏程（1989-），男，河北石家庄，河北广播电视台新媒体中心产业开发组科员，研究方向为广播电视新媒体端应用。

（责任编辑：张晓婧）